

Juha Lahdes

PUUKERROSTALON KANTAVIEN JA OSASTOIVIEN RAKENTEIDEN PALON- KESTÄVYYS

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Kandidaatintyö

TIIVISTELMÄ

Juha Lahdes: Puukerrostalon kantavien ja osastoivien rakenteiden palonkestävyys
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2019

Tässä kandidaatintyössä selvitetään, kuinka puukerrostalojen kantavien ja osastoivien rakenteiden palonkestävyys voidaan varmistaa. Työ pohjautuu ympäristöministeriön uudessa paloasetuksessaan esittämiin vaatimuksiin rakennusten paloturvallisuudesta. Työssä selvitetään edellä mainitut vaatimukset, joiden pohjalta esitetään vaatimuksia vastaavia tyyppiesimerkkejä, joilla puukerrostalojen paloturvallisuus voidaan varmistaa.

Aluksi työssä selvitetään, millaisia palonkestovaatimuksia kantavilta ja osastoivilta rakenteilta vaaditaan, uusimman, tammikuussa 2018 voimaan tulleen paloasetuksen mukaan. Työn alussa käydään läpi muitakin asetuksessa esitettyjä paloturvallisuusvaatimuksia. Lisäksi selvitetään, miten vaatimukset muuttuvat rakennuksen koon ja palokuorman muuttuessa.

Työn puolivälissä käydään läpi passiivisia palontorjuntakeinoja, joita puukerrostalojen palo-suojauksessa käytetään. Passiivisessa palontorjunnassa keskeisintä on rakennusosien pinta-luokka- ja luokkavaatimukset sekä suojaverhouksien luokkavaatimukset. Lisäksi työssä käsitellään onteloiden palokatkojen toteutusta sekä suojaamattoman puun käyttöä.

Työn lopussa esitellään tyypillisiä rakenneratkaisuja P2-paloluokan puukerrostalon keskeisille rakenteille. Kaikki tyyppiesimerkit kattavat työssä esitetyt paloturvallisuusvaatimukset. Tyyppiesimerkit kattavat kaksikerroksiset kerrostalot, joille asetettu palonkestovaatimus on REI 30 sekä tätä korkeammat kerrostalot, joiden palonkestovaatimus on REI 60.

Avainsanat: puukerrostalo, paloluokka, palonkestävyys, suojaverhoukset, paloasetus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO.....	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Työn tavoite ja tutkimusmenetelmä	1
1.3	Työn rakenne	2
2.	PUUKERROSTALON RAKENNUSOSIEN PALONKESTOVAATIMUKSET	3
2.1	Vaatimuksiin vaikuttavat tekijät.....	3
2.1.1	Paloluokat	3
2.1.2	Palokuormat.....	4
2.1.3	Kerrosten lukumäärä	5
2.2	Kantavuus R	6
2.3	Tiiviys E ja eristävyys I.....	7
2.4	Palo-osastointi	8
2.5	Vaatimusten täyttymisen osoittaminen	9
2.5.1	Suunnittelu määräysten ja ohjeiden mukaan.....	9
2.5.2	Suunnittelu perustuen oletettuun palonkehitykseen	9
3.	PASSIIVINEN PALONTORJUNTA PUUKERROSTALOSSA	11
3.1	Rakennustarvikkeiden luokat.....	11
3.2	Suojaverhous.....	13
3.3	Onteloiden palokatkot.....	15
3.4	Suojaamaton puupinta.....	19
4.	TYYPPIESIMERKKEJÄ REI 30- JA REI 60-LUOKAN RAKENTEISTA	21
4.1	Ulkoseinät	21
4.1.1	R 30	21
4.1.2	R 60	22
4.2	Kantavat väliseinät.....	24
4.2.1	REI 30	24
4.2.2	REI 60	25
4.3	Välipohjat	26
5.	YHTEENVETO	27
	LÄHTEET	28

1. JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Puukerrostalojen rakentaminen Suomessa oli pitkään mahdotonta tiukkojen palomääräysten vuoksi. Palomääräyksien uudistuksien myötä puu on päässyt osalliseksi myös kerrostalorakentamiseen. Vuoden 2011 palomääräysten uudistuksen myötä tuli puurunko mahdolliseksi P2-paloluokassa 3–8 kerroksisissa asuin- ja toimistorakennuksissa. Lisäksi enintään kaksikerroksia puutaloja voidaan rakentaa missä tahansa paloluokassa. Uusin vuoden 2017 asetus, joka astui voimaan tammikuussa 2018, rakennusten paloturvallisuudesta sallii myös suojaamattomien puupintojen käytön.

Betonista ja teräksestä poiketen puu on rakennusmateriaali, joka osallistuu paloon palotilanteessa. Puurakenteiden käyttäytyminen palotilanteessa tulee siis suunnitella hyvin. Vaikka puu onkin palava aine, materiaalina se ei ole palo-ominaisuuksiltaan heikommasta päästä, sillä puun palaessa sen pinta hiiltyy muodostaen palamattomalle puulle hyvän suojan. Puurakenteita voidaan suojata palolta erilaisilla suojaverhouksilla tai mitoittaa ne suojaamatta kestämään paloa niille asetetun vähimmäisajan. Edellä mainittujen passiivisten palontorjuntakeinojen lisäksi voidaan paloa torjua myös aktiivisesti. Aktiivisiin palontorjuntamenetelmiin kuuluvat erilaiset sammutusjärjestelmät, palovaroittimet ja -ilmoittimet ja jopa palokunta (Lahtela 2018a, s. 23). Tässä kandidaatin työssä ei käsitellä aktiivisia palontorjuntamenetelmiä.

1.2 Työn tavoite ja tutkimusmenetelmä

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on selvittää, miten puukerrostalojen kantavien ja osastoivien rakenteiden palonkesto tyypillisesti varmistetaan sekä kuinka palon leviäminen onteloissa estetään. Työn tutkimuskysymys on, miten palosuojaus muuttuu rakennuksen koon ja palokuorman perusteella. Työn lopussa esitellään tyypillisiä rakennustyyppejä ja suojaverhouksia eri vaatimustasoille REI 30–REI 60.

Tämä kandidaatintyö tehdään kirjallisuustutkimuksena. Tutkimuskysymykseen vastausta lähdetään hakemaan lainsäädännön kautta selvittäen eri kokoisten rakennusten rakenteiden palonkestovaatimuksia. Pääaineistona käytetään ympäristöministeriön asettamia määräyksiä ja ohjeita rakennusten paloturvallisuudesta ja niiden pohjalta tehtyjä ohjeita.

1.3 Työn rakenne

Johdannon ja yhteenvedon lisäksi tässä työssä on kolme lukua. Toisessa luvussa esitellään puukerrostalon kantavien ja osastoivien rakenteiden paloturvallisuusasetusten vaatimat palonkestovaatimukset tiiveyden, eristävyiden ja kantavuuden osalta. Lisäksi luvussa kerrotaan muista puukerrostaloille olennaisista paloturvallisuusvaatimuksista. Kolmannessa luvussa käydään läpi puukerrostalojen passiivista palontorjuntaa. Neljännessä luvussa esitellään P2-paloluokan puukerrostalon keskeisten rakenteiden tyyppi-esimerkkejä ja selvitetään millaisilla rakenneratkaisuilla pystytään saavuttamaan vaaditut palonkestoajat kantavuudelle, eristävyydelle ja tiiviydelle.

2. PUUKERROSTALON RAKENNUSOSIEN PALONKESTOVAATIMUKSET

Puukerrostalon kaikille kantaville ja osastoiville rakenteille on asetettu vähimmäispalonkestovaatimukset, jotka niiden tulee täyttää. Tällaisia vaatimuksia asetetaan rakenteen kantavuudelle, eristävyydelle ja tiiviydelle. Jokaisen rakenteen ja rakenusosan tulee kestää paloa sille asetetun vähimmäisajan. Vaatimustasoihin vaikuttaa rakennuksen paloluokka. Rakennuksen paloluokkaan taas vaikuttavat rakennuksen koko, kerrosmäärä, käyttäjien määrä ja palokuormat.

Lahtela (2018a, s. 11) kiteyttää rakennuksen paloturvallisuuden olennaiset tekniset vaatimukset seuraavasti:

- Rakennuksen kantavien rakenteiden tulee palotilanteessa kestää niille asetetut vähimmäisajat.
- Palon ja savun kehittyminen ja leviäminen rakennuksessa tulee olla rajoitettua.
- Palon leviämistä lähirakennuksiin tulee rajoittaa.
- Palon sattuessa rakennuksessa olevien henkilöiden tulee pystyä poistumaan rakennuksesta tai heidät on voitava pelastaa muulla tavoin.
- Pelastushenkilöstön turvallisuus on otettava huomioon.

Tässä luvussa selvitetään puurunkoisten rakennusten rakenteiden palonkestovaatimuksia sekä muita paloturvallisuuteen liittyviä vaatimuksia.

2.1 Vaatimuksiin vaikuttavat tekijät

2.1.1 Paloluokat

Jotta paloturvallisia rakennuksia voidaan rakentaa, on rakennukset jaettu paloluokkiin. Paloluokat jakavat rakennukset eri luokkiin, joilla kaikilla on omat paloturvallisuusvaatimukset. Näitä vaatimuksia noudattamalla voidaan rakennukset suunnitella sekä osoittaa paloturvallisiksi.

Paloluokat jaetaan neljään paloluokkaan, jotka ovat P0, P1, P2 ja P3 (YMa 848/2017 2017a, s. 3). Paloluokkia P1, P2 ja P3 käytetään taulukkomitoituksessa, jossa rakennus suunnitellaan käyttäen ympäristöministeriön paloturvallisuusmääräysten mukaisia taulukkoarvoja, joita myös tässä työssä esitellään. Vaatimustaso on korkein paloluokassa

P1, josta vaatimustaso alenee paloluokkaa P3 kohti mentäessä. P0-paloluokkaa käytetään, kun rakennuksen paloturvallisuus suunnitellaan oletetun palonkehityksen menettelytapaa eli toiminnallista suunnittelua käyttäen. Toiminnallinen paloturvallisuussuunnittelu toimii vaihtoehtona taulukkosuunnittelulle (Kryssi 2013, s. 19).

P1-paloluokan rakennuksen rakenteiden oletetaan kestävän sortumatta koko palotilanteen alusta loppuun. P1-paloluokan rakennuksille ei ole asetettu rajoituksia rakennuksen koolle tai henkilömäärille. (YMa 848/2017 2017a, s. 9)

P2-paloluokan rakennuksen kantavilta rakenteilta ei vaadita sortumattomuutta palotilanteessa, mutta rakenteiden tulee kestää palon sattuessa niille määrättyt vähimmäisajat. Riittävä paloturvallisuuden taso saavutetaan rajaamalla rakennuksen kokoa ja henkilömääriä sekä asettamalla vaatimuksia rakennuksen pintaosien ominaisuuksille ja varustelemalla rakennus tarpeellisilla paloturvallisuuslaitteilla. (YMa 848/2017 2017a, s. 9)

P3-paloluokan rakennuksen kantaville rakenteille ei ole lainkaan asetettu palonkesto-vaatimuksia, vaan paloturvallisuus taataan täysin rajaamalla rakennuksen kokoa ja henkilömääriä (YMa 848/2017 2017a, s. 9). Myös P3-paloluokan rakennuksen kuitenkin oletetaan kestävän sortumatta henkilöiden poistumiseen tarvittavan ajan verran.

Uudessa ympäristöministeriön paloasetuksessa (YMa 848/2017 2017a, s. 9) otettiin paloluokkiin mukaan uusi paloluokka P0, jota käytetään, kun rakennus suunnitellaan paloturvallisuuden kannalta oleellisin osin oletetun palonkehityksen menettelytapaa käyttäen. Oletettuun palonkehitykseen perustuva paloturvallisuuden suunnittelu on yksityiskohtaista paloturvallisuussuunnittelua, jossa tulee ottaa huomioon kaikki rakennuksessa suurella todennäköisyydellä tapahtuvat tilanteet (Kryssi 2013, s. 19). P0-paloluokkaa ei kuitenkaan tarvitse käyttää, jos rakennuksen paloturvallisuutta suunnitellaan vain vähäisiltä osin oletetun palonkehityksen menettelytavalla (YMa 848/2017 2017a, s. 9).

2.1.2 Palokuormat

Palokuormalla tarkoitetaan lämpömäärää, joka syntyy, kun tilan kaikki palokelpoinen aine palaa täydellisesti. Palokuormaan kuuluu siis irtaimiston lisäksi kaikki rakennusosat ja rakenteet, jotka osallistuvat paloon. Palokuormat ilmoitetaan palokuormatiheytenä MJ/m² ja ne määrittävät taulukkomitoituksessa palo-osaston käyttötavan mukaan. Palokuormia on myös mahdollista määrittää luotettavalla arviolla ja laskennalla toiminnallista palosuunnittelua käyttäen.

Ympäristöministeriö on jakanut palokuormat kolmeen eri palokuormaryhmään palo-osastojen käyttötapojen perusteella. Palokuormaryhmät ovat alle 600 MJ/m², 600–1 200 MJ/m² sekä yli 1 200 MJ/m². Yli 1 200 MJ/m² palokuormaryhmään kuuluvat yli 50 m²

varastot, jotka ovat omia palo-osastoja. 600–1 200 MJ/m² palokuormaryhmään kuuluvat asuinrakennusten irtaimistovarastot, alle 50 m² varastot, moottoriajoneuvojen korjaus- ja huoltotilat, sekä osa kokoontumis- ja liiketiloista, kuten näyttelyhallit, kirjastot ja yli 300 m² myymälät. Alle 600 MJ/m² paloluokkaryhmään kuuluvat asunnot, majoitustilat ja hoitolaitokset, sekä osa kokoontumis- ja liiketiloista, kuten ravintolat, alle 300 m² myymälät, toimistot, koulut, uimahallit, kirkot, päivähoitolaitokset ja autokatokset. (YMa 848/2017 2017b, s.4)

Toiminallisessa palomitoituksessa, eli paloluokassa P0, tulee rakennuksen palokuormat aina erikseen selvittää. Palokuormaa aletaan tällöin selvittämään todellisen palokehityksen simuloinnilla. Onnistuneeseen simulointiin tarvitaan eri tilojen palokuormien lisäksi tiedot palokuormien sijainneista ja palamisominaisuuksista. (Lahtela 2018a, s. 13)

Palokuormien suuruudet määrittävät rakennuksen kantaville ja osastoiville rakenteille palonkestoaikoja. Mitä suurempi palokuorma palo-osastossa on, sitä suuremmat ovat myös vaatimukset rakenteille. Esimerkiksi asuinrakennusten irtaimistovarastot kuuluvat palokuormaryhmään 600–1 200 MJ/m². Jos yli 2-kerroksiseen P2-paloluokan puurunkoiseen kerrostaloon tehdään irtaimistovarasto, tulee varasto osastoida luokan REI 90 rakennusosilla, eli osaston täytyy kestää täysimittaista palotilannetta 90 minuuttia kantavana, tiiviinä ja eristävänä (Lahtela 2018a, s. 13). Normaalisti kerrostalohuoneiston palokuorma on alle 600 MJ/m², jolloin sitä osastoivien ja kantavien rakenneosien luokka on REI 60.

2.1.3 Kerrosten lukumäärä

Enintään kaksikerroksisen puurunkoisen talon saa rakentaa missä paloluokassa tahansa. 3–8-kerroksiset puukerrostalot tulee rakentaa P2-paloluokassa.

Rakennuksen kerrosmäärään lasketaan mukaan vain maanpäälliset pääkäyttötarkoituksen mukaiset kerrokset. Kerroksien lisäksi rakennuksessa saa olla esimerkiksi kellari ja käyttöullakko. Katolla sijaitsevaa ilmanvaihtokonehuonetta ei myöskään lasketa kerrokseksi. Käyttöullakon rakentaminen ei kuitenkaan ole sallittua puurakenteisille yli 2-kerroksisille kerrostaloille. Kellarikerroksen tulee olla maan alla, joko kokonaan, tai vähintään pääasiallisesti. (Lahtela 2018a, s. 13)

Kerrosmäärä vaikuttaa rakennuksen paloluokkaan ja sitä kautta suoraan rakennuksen palovaatimuksiin, mitä enemmän kerroksia sitä suuremmat ovat vaatimukset kantaville ja osastoiville rakenteille. Kerrosmäärän kasvaessa myös ylempien kerroksien palonkestovaatimukset kasvavat.

Kerrosmäärrien lisäksi rakennusten korkeuksia on rajoitettu eri paloluokissa. P3-paloluokan asuinrakennus saa olla korkeintaan 9 metriä korkea riippumatta siitä, onko rakennus kaksi- vai yksikerroksinen. P3-paloluokassa ei myöskään ole sallittua rakentaa kaksikerroksista rakennusta, jossa päällekkäiset kerrokset ovat eri asuinhuoneistoja. P2-paloluokan puukerrostalon korkeus saa olla korkeintaan 28 metriä. (YMa 848/2017 2017b, s. 5)

2.2 Kantavuus R

Palotilanteessa rakennus ja sen rakenteet tulee kestää sortumatta niille vaaditut vähimmäisajat. Vähimmäisajat ovat määritetty siten, että niiden aikana rakennuksessa olevat henkilöt pystyvät poistumaan talosta tai heidät pystytään pelastamaan rakennuksesta muulla tavoin. Myös palokunnan turvallisuus on otettu huomioon määrittäessä kantavuuden vähimmäiskestoajoja.

Puutalon kantavuusvaatimukset määrittyvät kerros määrän paloluokan ja palokuorman mukaan. Ympäristöministeriön (YMa 848/2017 2017b, s. 7) asettamat kantavuusvaatimukset puurunkoisille asuinrakennuksille, perustuen rakennuksen kerros määrään, paloluokkaan ja palokuormaan, on esitetty alla taulukossa 1. Taulukossa kirjain R tarkoittaa kantavuutta ja numero sen perässä palonkesto aikaa minuutteina.

Taulukko 1. Puurunkoisen asuinrakennuksen kantavuudenkestovaatimukset (YMa 848/2017 2017b s.7)

Puurunkoinen asuinrakennus	P1			P2		
	Yli 1 200	600–1 200	alle 600	Yli 1 200	600–1 200	alle 600
Palokuorma (MJ/m ²)						
1–2-kerroksinen, yleensä	R120 (R60*)	R90 (R60*)	R60	R30	R30	R30
– kellarikerros	R120, A2 (R90*, A2)	R90, A2 (R60*, A2)	R60, A2	R60, A2	R60, A2	R60, A2
– Yläpohja	R60/R15	R60/R15	R60/R15	R30/R15	R30/R15	R30/R15
3–8-kerroksinen, yleensä	ei mahd.	ei mahd.	ei mahd.	-	R90*	R60*
– kellarikerros	ei mahd.	ei mahd.	ei mahd.	R60, A2	R60, A2	R60, A2
– ylin kerros	ei mahd.	ei mahd.	ei mahd.	R60*	R60*	R60*
– Yläpohja	ei mahd.	ei mahd.	ei mahd.	R30/R15	R30/R15	R30/R15

Taulukossa 1 merkintä * tarkoittaa, että rakennus on varustettu automaattisella sammutuslaitteistolla, jolloin palonkestovaatimuksia voidaan laskea. Yli kaksikerroksissa P2-paloluokan asuinkestoaloissa automaattinen sammutuslaitteisto on aina pakollinen. Merkintä A2 on rakennustarvikkeen luokkamerkki, joka kertoo, että rakennustarvikkeen tulee olla vähintään sellaista laatua, että se osallistuu paloon erittäin rajoitetusti. Puu on paloon osallistuva materiaali, jonka luokkamerkki on D, jolloin se ei ole kelvoinen kellarikerrok-

sen kantavien rakenteiden materiaaliksi. Taulukossa 1 yläpohjalle on osoitettu kaksi erillistä kantavuus vaatimusta, joista ensimmäistä käytetään, jos yläpohja on kantavan rungon olennainen osa ja toista jos yläpohja ei ole kantavan rungon olennainen osa. Taulukko 1 on suuntaa antava ja sisältää vain yleisimmät kerrostyypit, kattavampi taulukko löytyy ympäristöministeriön paloasetuksista. (YMa 848/2017 2017b, s. 7)

Yli 2-kerroksisten P1-paloluokan rakennusten oletetaan kestävän palotilanteen alusta loppuun kantavana. Koska puu materiaalina osallistuu paloon, ei sitä voida käyttää kantavana rakenteena yli 2-kerroksisissa rakennuksissa P1-paloluokassa. P3-paloluokan rakennuksille ei ole lainkaan asetettu vähimmäisaikaa kantavuudelle.

2.3 Tiiviys E ja eristävyys I

Rakenteen tiiviydelle tarkoitetaan rakenteen kykyä estää liekkien ja kuumien kaasujen siirtymistä rakenteen läpi. Rakenteessa ei siis saa ilmetä halkeilua tai muuta muodonmuutosta, josta palo pääsisi leviämään toiseen tilaan.

Rakenteen eristävyys tarkoittaa rakenteen kykyä eristää lämmön johtumista rakenteen läpi. Liiallinen lämmön nousu saattaa sytyttää suojattavan rakenteen, jolloin palo pääsee leviämään toiseen tilaan.

Rakenteen tiiveys ja eristävyys yhdessä tekevät rakenteesta osastoivan. Osastoivaa rakennetta kuvataan kirjainyhdistelmällä EI. Kantavuuden tavoin osastoiville rakenneosille on laadittu vähimmäispalonkestoaikavaatimukset, jotka niiden tulee pysyä tiiviinä ja eristävänä. Alla taulukossa 2 on lueteltuna ympäristöministeriön asettamat palonkestovaatimukset puukerrostalon osastoiville rakennusosille.

Taulukko 2. Osastoivien rakennusosien luokkavaatimukset (YMa 848/2017 2017b, s.11)

Puurunkoinen asuinrakennus	P1			P2	P3
Palokuorma (MJ/m ²)	yli 1 200	600–1 200	alle 600	-	-
1–2-kerroksinen, yleensä	EI 120	EI 90	EI 60	EI 30	EI 30
– Yläpohja	EI 60	EI 60	EI 60	EI 30	EI 30
– Kellari	EI 120, A2 (EI 90, A2*)	EI 90, A2 (EI 60, A2*)	EI 60, A2	EI 60, A2	EI 30, A2
– Ullakon osastoivat seinät ja pinta-alaosastointi	EI 30	EI 30	EI 30	EI 30	EI 30
3–8-kerroksinen, yleensä	ei mahd.	ei mahd.	ei mahd.	EI 60	ei mahd.
– Yläpohja	ei mahd.	ei mahd.	ei mahd.	EI 60	ei mahd.
– Kellari	ei mahd.	ei mahd.	ei mahd.	EI 60, A2	ei mahd.
– Ullakon osastoivat seinät ja pinta-alaosastointi	ei mahd.	ei mahd.	ei mahd.	EI 30	ei mahd.

Taulukon 2 erikoismerkit ovat avattuna taulukon 1 alle. Kuten kellarikerrosten kanatavat rakenneosat, myös kellarikerrosten osastoivat rakenteet tulee tehdä vähintään A2-luokan rakennustarvikkeista.

2.4 Palo-osastointi

Palo-osastointi tarkoittaa palon sulkemista tiettyyn osastoon eli tilaan, josta tuli ja savu eivät pääse leviämään muualle rakennukseen. Palo-osastoinnilla varmistetaan mahdollisuus talosta poistumiselle ja pelastustoimenpiteille, lisäksi palo-osastointi vähentää omaisuusvahinkoja.

Osastoivana rakennusosana tavallisesti voidaan pitää rakennuksen väliseiniä sekä väli- ja yläpohjarakenteita. Tyypillisesti palo-osastointi toteutetaan asentamalla osastoiva levytys molemmin puolin runkoa sekä lisäämällä runko-onteloon mahdollinen villoitus. Eristeen laadulla on merkitystä, sillä suojalevytyksen pettäessä ja eristeen ollessa palavaa laatua, pääsee palo hiililyttämään rankarunkoisen rakenteen runkoa kolmesta suunnasta, jolloin osastoivan rakenteen kantavuus on vaarassa. (Lahtela 2018a, s. 43)

Tyypillisesti rakennuksen kerros on aina oma palo-osastonsa, jota voidaan vielä jakaa pienempiin osastoihin, kuten asuinrakennuksissa huoneistoihin. Kun kokonainen kerros on oma palo-osastonsa, puhutaan kerrososastoinnista. Tyypillisiä kerrososastoja kerrostaloissa ovat esimerkiksi kellarit ja ullakot. Kun taas kerros on osastoitu useampaan palo-osastoon, puhutaan pinta-alaosastoinnista. Kolmas osastointitapa on käyttötapaosastointi, jossa kaksi palokuormiltaan erilaista tilaa osastoidaan eri palo-osastoiksi.

Palo-osastojen tarkoitus on rajoittaa tulipaloa niin, että palosta johtuvat omaisuusmenetykset eivät ole kohtuuttoman suuria. Rakennuksen palo-osastoille on asetettu paloluokasta ja rakennuksen käyttötavasta riippuvat enimmäispinta-alat. Palo-osastointivaatimukset asuinrakennuksessa poikkeavat muista rakennuksista siten, että palo-osastolle ei ole määrätty enimmäispinta-alaa, vaan asuinrakennukset tulee osastoida huoneistoitain. Asuinrakennuksiakin koskee silti kellareiden, ullakoiden ja yläpohjien onteloiden palo-osastojen enimmäispinta-alat. P1- ja P2-paloluokissa kellarin palo-osasto pinta-ala saa olla enintään 800 m², mutta automattisella sammuuslaitteistolla voidaan pinta-alaa kasvattaa aina 2400 m² saakka. Ullakon ja yläpohjan ontelon palo-osaston pinta-ala saa olla korkeintaan 1600 m². P3-paloluokan rakennuksen kellarin palo-osaston enimmäispinta-ala on 400 m². Ullakon ja yläpohjan ontelon palo-osaston pinta-ala taas määräytyy alapuolisten osastojen mukaan. Ullakoiden ja yläpohjien onteloiden palo-osastot tulee lisäksi jakaa enintään 400 m² osiin kaikissa paloluokissa poistumisen ja onnistuneen

sammutustyön turvaamiseksi. Osiin jakavan rakennusosan luokkavaatimus on EI 15. (YMa 848/2017 2017b, s. 9–10)

Palo-osastojen pinta-aloja saa myös kasvattaa enintään 50 prosentilla, jos osasto varustetaan paloturvallisuutta kasvattavalla laitteistolla. Tällaisia laitteistoja ovat hätäkeskukseen liitetty automaattinen paloilmoin, automaattinen savunpoistolaitteisto ja automaattinen sammutuslaitteisto. (YMa 848/2017 2017b, s.10) Yli 2-kerroksisille P2-paloluokan rakennuksille hätäkeskukseen yhdistetty automaattinen sammutuslaitteisto on pakollinen.

2.5 Vaatimusten täyttymisen osoittaminen

Ympäristöministeriön määräykset sallivat kaksi tapaa suunnitella rakennusten paloturvallisuutta. Paloturvallisuuden voi suunnitella taulukkomitoituksena määräysten ja ohjeiden mukaan tai suunnittelun voi tehdä toiminnallisella mitoituksella eli perustuen oletettuun palonkehitykseen. Vaatimusten täyttymisen osoittaminenkin eroaa näiden kahden suunnittelutavan välillä.

2.5.1 Suunnittelu määräysten ja ohjeiden mukaan

Paloturvallisuusvaatimusten katsotaan täytyvän silloin, kun pystytään osoittamaan, että rakennuksen suunnitelmat täyttävät ympäristöministeriön asettamien määräysten ja ohjeiden paloluokat ja lukuarvot. (YMa 848/2017 2017b, s. 3) Suunnitelmat saavat sisältää myös vähäisen määrän suunnittelua, joka perustuu oletettuun palonkehitykseen.

2.5.2 Suunnittelu perustuen oletettuun palonkehitykseen

Toinen tapa osoittaa vaatimusten täytyminen on suunnitella rakennus toiminnallisella palomitoituksella eli perustuen oletettuun palonkehitykseen. Toiminnallinen palomitoitus tehdään aina jokaiselle rakennukselle erikseen ja sen tulee sisältää kaikki kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti tapahtuvat tilanteet. Paloturvallisuusvaatimusten täyttymisen tarkistuksessa otetaan aina huomioon rakennuksen ominaisuudet ja käyttö.

Toiminnallinen palomitoitus mahdollistaa esimerkiksi yli 8-kerroksiset puukerrostalot ja sen avulla voidaan poiketa taulukkomitoituksen vaatimuksista, kuten pintaluokka- tai suojaverhousvaatimuksista. (Lahtela 2018a, s. 15)

Ympäristöministeriön ohjeen mukaan (YMa 848/2017 2017a, s.4) toiminnallisessa suunnittelussa tulee käyttää menetelmiä, joiden kelpoisuudet ovat osoitettu. Tällaisia menetelmiä ovat eurooppalaisten (EN) ja kansainvälisten (ISO) standardien mukaiset koe- ja laskentamenetelmät.

Rakennuslupamenettelyn yhteydessä tulee luvanhakijan pystyä osoittamaan, että rakennettava rakennus täyttää kaikki ympäristöministeriön asettamat paloturvallisuusvaatimukset. Luvanhakijan tulee esittää suunnittelun perusteet, käytetyt mallit ja saadut tulokset. Jotta paloturvallisuusvaatimusten voidaan katsoa täyttyvän, tulee ympäristöministeriön ohjeen mukaan (YMa 848/2017 2017a, s. 4) asiakirjoista ilmetä vähintään:

- ”rakennuksen ja siinä olevien paloturvallisuuslaitteiden kuvaus,
- rakennuksen käytöstä koko sen elinkaaren aikana tehdyt oletukset,
- palokunnan toimintamahdollisuuksista tehdyt oletukset,
- perusteet tarkastelun kohteiksi valituille palotilanteille,
- vikaantumistarkastelu tarvittavassa laajuudessa perusteluineen,
- rakennuksen käytön aikana edellytettävät huolto- ja kunnossapitotoimet,
- käytettyjen menetelmien kuvaus, joka sisältää laskenta- ja koemenetelmien soveltuvuuden rajoituksineen sekä lähtötiedot ja tehdyt oletukset perusteluineen,
- saadut tulokset herkkyyssalanyyseyneen (sen selvittämiseksi, aiheuttaako pieni muutos tehdyissä oletuksissa merkittävän muutoksen paloturvallisuudessa),
- hyväksymiskriteerit ja saatujen tuloksien vertailu niihin”

Lisäksi asiakirjoissa tulee yksilöidä sovellusalueet, jos suunnitteluun on käytetty molempia vaatimusten täyttymisen osoituskeinoja.

3. PASSIIVINEN PALONTORJUNTA PUUKER- ROSTALOSSA

Tässä luvussa esitellään erilaisia passiivisia palontorjuntamenetelmiä, joita voidaan käyttää puukerrostalojen palosuojauksessa. Palontorjuntaa voidaan toteuttaa passiivisesti sekä aktiivisesti. Passiivisella palontorjunnalla tarkoitetaan rakenteellista suojasta, kuten suojaverhousta. Aktiivisia palontorjuntamenetelmiä ovat esimerkiksi automaattiset sammutuslaitteistot ja paloilmaisimet. Tässä kandidaatin työssä keskitytään ainoastaan passiivisiin palontorjuntamenetelmiin. Aktiivinen palontorjunta on silti tärkeä osa puurunkoisten rakennusten paloturvallisuutta.

3.1 Rakennustarvikkeiden luokat

Eri rakennustarvikkeet käyttäytyvät eri tavalla palotilanteessa. Jokin rakennusosa voi tuottaa runsaasti savua ja toinen palavia pisaroita. Siksi on tärkeää tuntea käytettävän rakennustarvikkeen käytös palotilanteessa. Rakennustarvikkeiden palamista on tutkittu ja tulosten pohjalta on kaikille testatuille tarvikkeille määrätty oma luokkansa. Luokka kertoo rakennustarvikkeen osallistumisesta paloon, sekä sen savun ja palavien pisaroitten tuotosta. Taulukossa 3 on esitetty rakennustarvikkeiden luokitteluun käytettävät merkinnät.

Taulukko 3. Rakennustarvikkeiden luokitusjärjestelmä (Lahtela 2018a, s. 24)

Osallistuminen paloon		Savun tuotto		Palavien pisaroiden ja osien tuotto	
Kuvaus	Merkintä	Kuvaus	Merkintä	Kuvaus	Merkintä
Ei osallistu	A1	Erittäin vähäinen	s1	Ei esiinny	d0
Osallistuu erittäin rajoitetusti	A2	Vähäinen	s2	Nopeasti sammuvia esiintyy	d1
Osallistuu hyvin rajoitetusti	B	Muu kuin s1 tai s2	s3	Muu kuin d0 tai d1	d2
Osallistuu rajoitetusti	C				
Osallistuminen hyväksyttävää	D				
Käyttäytyminen hyväksyttävää	E				
Käyttäytymistä ei ole määritetty	F				

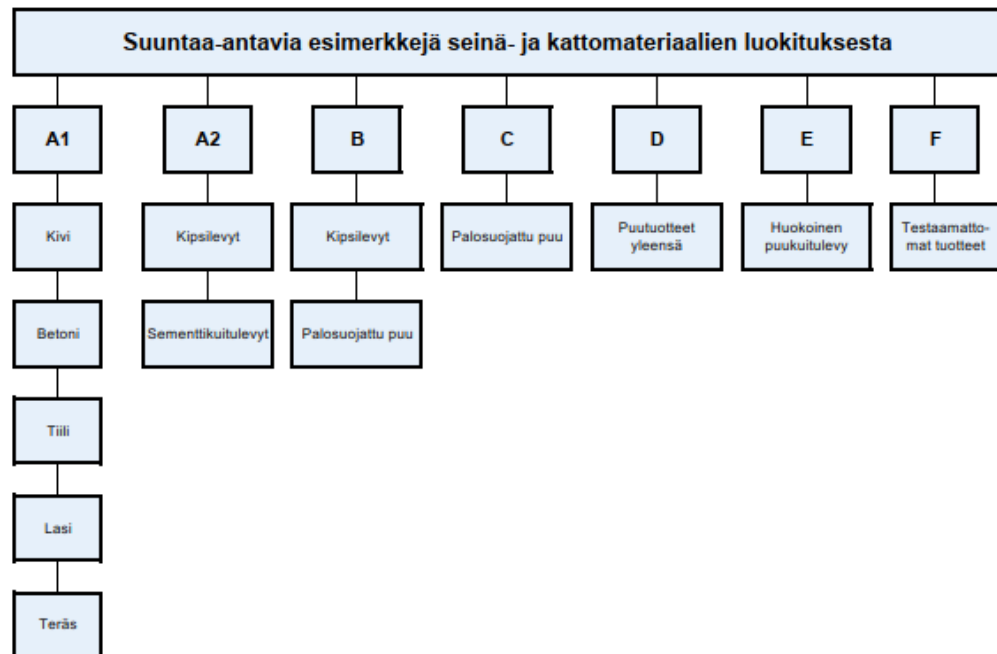
Ympäristöministeriö on asettanut rakennusten sisäpuolisille pinnoille luokkavaatimuksia, jotka ovat esitettyinä taulukossa 4. Luokkavaatimukset eivät kuitenkaan koske pinta-alaltaan vähäisiä rakennusosia, kuten ovia, ikkunoita, jalkalistoja tai kiinnityspintoja. Pintoja saa myös päällystää luokittamattomilla tasoite-, siloite-, ja maalikerroksella tai tapetilla,

jos voidaan olla varmoja, että päällyste ei vaikuta olennaisesti pinnan paloteknisiin ominaisuuksiin. (YMa 848/2017 2017b, s. 12–13)

Taulukko 4. Asuinkerrostalon sisäpuolisten pintojen luokkavaatimuksia (YMa 848/2017 2017b, s. 13)

	P1	P2	P3
Kellarikerros			
seinät ja katto	C-s2, d1	B-s1, d0	D-s2, d2
lattia	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1
Asunnot			
seinät ja katto	D-s2, d2	D-s2, d2	D-s2, d2
Ullakot ja yläpohjan ontelot			
seinät ja katto	D-s2, d2 ¹⁾	D-s2, d2 ¹⁾	-
¹⁾ Ullakot ja yläpohjan ontelot tulee olla osastoitu alapuolisesta tilasta			

Kuvassa 1 on havainnollistava esimerkki eri materiaalien luokista ja siitä voidaan nähdä, että puutuotteita voidaan käyttää pintamateriaaleina kaikissa muissa rakennuksen sisäpuolisissa rakenteissa, paitsi kellarin katto- ja seinärakenteissa. Suojaamattoman puun luokka on D-s2, d0, mutta puuta voidaan suojata palosuojamaalilla, jolloin sen luokaksi saadaan B-s1, d0 (Lahtela 2018a, s. 27).



Kuva 1. Erilaisten rakennustarvikkeiden luokkia (Lahtela 2018a, s. 26)

Sisäpuolisten pintojen tavoin myös rakennusten ulkopinnoille on asetettu luokkavaatimuksia. Yli 2-kerroksisessa P2-paloluokan asuinkerrostalossa ulkoseinän ulkopinnassa ja tuuletusvälin ulkopinnassa tulee käyttää vähintään D-s2, d2 -luokan rakennustarvikkeita. Tuuletusvälin sisäpinnassa tulee taas käyttää vähintään K₂ 10 -luokan suojaverhousta, joka on tehty vähintään A2-s1, d0 -luokan rakennustarvikkeista. Poikkeuksena ensimmäisen kerroksen ulkoverhouspinnat, jotka tulee toteuttaa vähintään B-s2, d0 -luokan rakennustarvikkeilla. Ulkoseinän eristeet ja muut täytteet tulevat olla vähintään A2-s1, d0 -luokkaa. Pintoja saa myös päällystää, jos päällysteet eivät vaikuta olennaisesti pinnan käyttäytymiseen palotilanteessa. (YMa 848/2017 2017b, s. 15–16)

3.2 Suojaverhous

Suojaverhouksella tarkoitetaan verhousta, jonka tehtävänä on palotilanteessa suojata sen takana olevaa rakennetta syttymiseltä, hiiltymiseltä tai muulta vaurioitumiselta sille määrätyn ajan. Suojaverhouksen tulee täyttää sille määrätty, rakennuksen koosta ja paloluokasta riippuvat, luokkavaatimukset.

Ympäristöministeriön (YMa 848/2017 2017b, s.14) mukaan yli 2-kerroksisten P2-paloluokan rakennusten sisäpuolisten pintojen tulee olla varustettu vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista tehdyillä suojaverhouksilla. Suojaverhouksen luokkavaatimus muuttuu kerrosmäärän kasvaessa. 3–4-kerroksisten P2-paloluokan rakennusten suojaverhoukseen saa käyttää K₂ 10 -luokan suojaverhousta, kun taas 5–8-kerroksisten P2-paloluokan rakennusten suojaverhousluokkavaatimus on K₂ 30. Suojaverhousluokkaa K₂ 30 käytettäessä kaikkia pintoja ei tarvitse suojaverhota, jolloin paljasta puupintaa voidaan jättää näkyviin luvun 3.4 ehtojen mukaisesti. Suojaverhousluokkaa K₂ 10 käytettäessä, ei paljasta puupintaa saa jättää näkyviin, jolloin kaikki pinnat tulee suojaverhota.

Suomessa taulukkomitoitukseen perustuvassa suunnittelussa käytetään kahta suojaverhousluokkaa, jotka ovat K₂ 10 ja K₂ 30. Suojaverhousluokkien alaindeksi 2 tarkoittaa alustan luokkaa johon suojaverhous voidaan kiinnittää ja numero lopussa suojausaikaa. K₂ -luokan suojaverhousta voidaan käyttää mihin alustaan tahansa. (Lahtela 2018a, s. 35)

K₂ -luokan suojaverhoukselle on asetettu vaatimuksia, jotka sen tulee täyttää. Suojaverhouksen taustan lämpötila ei saa nousta keskimäärin yli 250 °C alkulämpötilasta, eikä lämpötila saa nousta missään yli 270 °C. Suojaverhouksen taustalla tarkoitetaan pintaa, joka on kiinni suojattavassa rakenteessa. Lisäksi verhouksen tulee kestää ehjänä koko suojausajan eli verhouksessa ei saa esiintyä sellaisia vaurioita, joista palo pääsisi vaurioittamaan suojattavaa rakennetta. Suojattavassa rakenteessa ei saa myöskään esiintyä

hiiltymistä. (Mikkola & Holopainen 2017, s. 26) Lisäksi suojaverhoukselta vaaditaan, että suojaverhous ei putoa tai sen osia ei irtoa suojausajan aikana siten, että suojattava rakenne altistuisi suoraan palolle (Myllylä et al. 2015, s. 27)

Suojaverhouksia voidaan toteuttaa esimerkiksi kipsi- tai kivivillalevyillä. Alla taulukossa 5 on esitetty erilaisia kivivillalevytuotteita ja taulukossa 6 erilaisia kipsilevytuotteita. Kantavien rakenteiden suojaverhouksessa voidaan käyttää myös puuverhous, jos suunnittelussa käytetään toiminnallista palomitoitusta ja puuverhous täyttää K₂-luokan suojaverhousvaatimukset (Myllylä et al. 2015, s. 27). Suojalevyjä voidaan asettaa useampi päällekkäin, jolloin suojausaikaa voidaan pidentää.

Taulukko 5. Kivivillalevytuotteita ja niillä saavutettavia suojaverhousluokkia (Lahtela 2018a, s. 36)

Tuote	Käyttötarkoitus	Asennustapa ja saumatyyppi	Paksuus	Suojaverhousluokka	Rakennustarvikkeen luokka
PAROC FireSAFE VF10	Tuuletetut julkisivut	Valmistajan ohjeen mukaan	30 mm	K ₂ 10	A1
PAROC FireSAFE RF30	Rapattava suojaverhouslevy	Valmistajan ohjeen mukaan	50 mm	K ₂ 30	A1
PAROC FireSAFE VF30	Tuuletetut julkisivut	Valmistajan ohjeen mukaan	50 mm	K ₂ 30	A1
PAROC Cortex	Tuuletetut julkisivut	Valmistajan ohjeen mukaan	50 mm	K ₂ 30	A2-s1, d0
PAROC Cortex One	Tuuletetut julkisivut	Valmistajan ohjeen mukaan	80 mm	K ₂ 30	A2-s1, d0
PAROC FireSAFE RO30	Katot	Valmistajan ohjeen mukaan	30 mm / 50 mm	K ₂ 30	A1
PAROC FPS 17	Palosuojalevy	Valmistajan ohjeen mukaan	50 mm	K ₂ 30	A1
			60 mm	K ₂ 60	A1
PAROC FPL 80	Aukkojen reunat	Valmistajan ohjeen mukaan	200 mm	K ₂ 60	A1

Taulukko 6. Kipsilevytuotteita ja niillä saavutettavia suojaverhousluokkia (Lahtela 2018a, s. 37)

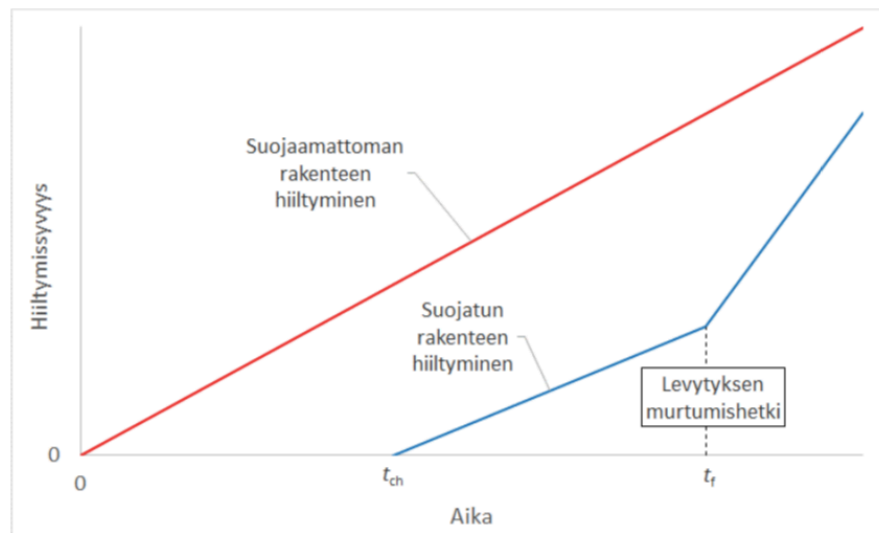
Tuote	Tuotestandardi	Asennustapa ja saumatyyppi	Paksuus	Suojaverhousluokka	Rakennustarvikkeen luokka
Kipsikartonkilevy	EN 520	Valmistajan ohjeen mukaan	≥ 9 mm	K ₂ 10	A2-s1, d0
			≥ 13 mm	K ₂ 10	A2-s1, d0
			≥ 15 mm ¹⁾	K ₂ 10	A2-s1, d0
			≥ 13 mm + ≥ 15 mm ¹⁾	K ₂ 30	A2-s1, d0
Kuitukipsilevy	EN 15283	Valmistajan ohjeen mukaan	≥ 10 mm	K ₂ 10	A2-s1, d0
			≥ 18 mm	K ₂ 30	A2-s1, d0
			≥ 10 mm + ≥ 10 mm	K ₂ 30	A2-s1, d0
WISA-SpruceFR	EN 636	Valmistajan ohjeen mukaan	≥ 15 mm	K ₂ 10	B-s1, d0 (kaikki asennustavat)
Metsä Wood Spruce FireResist	EN 636	Valmistajan ohjeen mukaan	≥ 15 mm	K ₂ 10	B-s1, d0 tai B-s2, d0 (asennustavasta riippuen)

¹⁾ Palokipsilevy.

Kipsilevyt ovat yleisimpiä puurakenteiden palosuojaukseen käytettäviä tuotteita. Kipsilevyn kyky suojata palolta perustuu sen sisältämään kideveteen, joka palotilanteessa haihtuu endotermisesti eli energiaa sitoen. Haihtuminen sitoo lämpöä tehokkaasti, jolloin suojattavan rakenteen lämpötila ei nouse kuin hieman yli 100 °C:een. Suojattavan rakenteen lämpötila alkaa kasvamaan vasta kun kaikki kidevesi on haihtunut. Kipsilevyjä

on kahdenlaisia, tavanomaisia kipsilevyjä sekä palokipsilevyjä. Palokipsilevy eroaa tavallisesta kipsilevystä siten, että siihen on lisätty lasikuitua. Lasikuitu aiheuttaa palotilanteessa levyssä pieniä halkeamia kaikkialla levyssä yhden suuren halkeaman sijasta, jolloin levyn murtuminen on epätodennäköisempää. (Myllylä et al. 2015, s. 25)

Suojaverhouksilla suojattujen rakenteiden hiiltävyys eroaa suojaamattomien puurakenteiden hiiltymisestä. Suojatun puurakenteen hiiltävyys tapahtuu vaiheittain. Kuvasta 2 voi hyvin havaita nämä vaiheet.



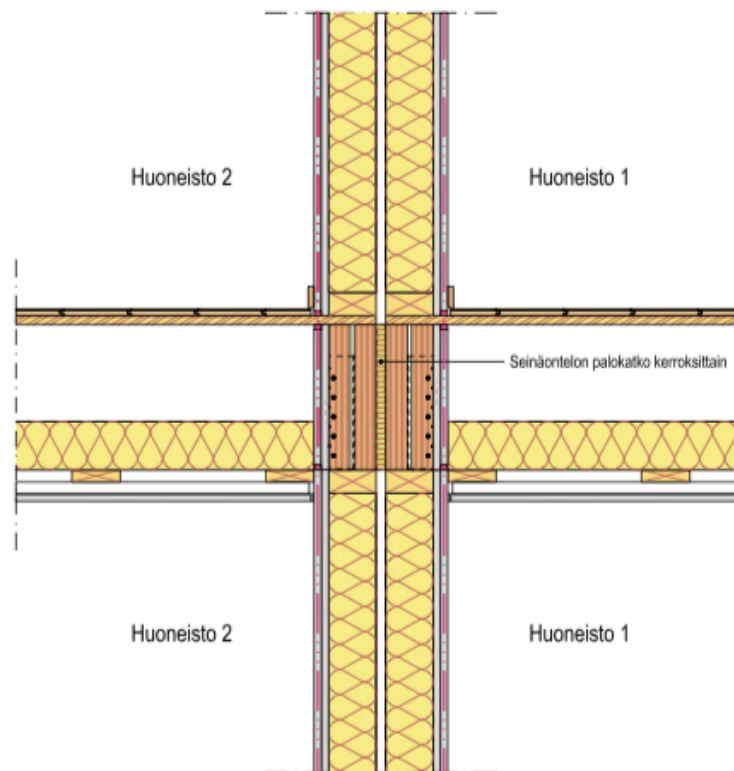
Kuva 2. Kipsilevyllä suojatun ja suojaamattoman puurakenteen hiiltymisnopeus palotilanteessa (Myllylä et al. 2015, s.26)

Aluksi suojattava rakenne ei hiilly lainkaan, kunnes rakenteen lämpötila nousee yli 300 °C. Tätä ajankohtaa kuvataan symbolilla t_{ch} . Seuraavassa vaiheessa suojaus vielä toimii ja on paikallaan, kunnes ajanhetkellä t_f suojaus murtuu. Suojauksen murtumisen jälkeen hiiltymisnopeus kasvaa selvästi nopeammaksi mitä suojaamattoman puun hiiltymisnopeus normaalisti olisi, johtuen kosteuden haihtumisesta ja rakenteen korkeasta lämpötilasta. Eurokoodi 5 mukaan hiiltymisnopeus palautuu vastaamaan suojaamattoman rakenteen hiiltymisnopeutta 25 mm hiiltymissyvyyden jälkeen. (Myllylä et al. 2015, s. 26)

3.3 Onteloiden palokatkot

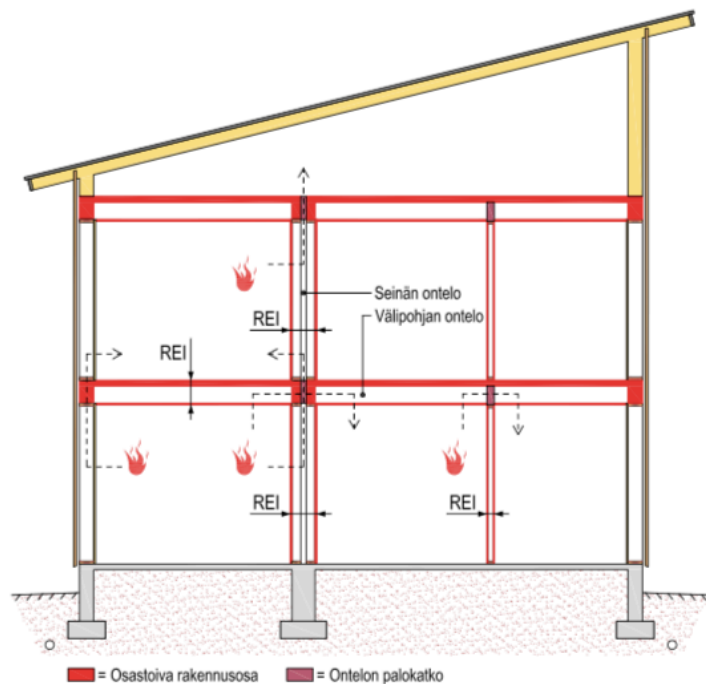
Ontelopaloissa vaarallisinta on, että niitä on vaikea havaita. Ontelopalo pääseekin usein leviämään pitkälle ennen kuin se huomataan, siksi on tärkeää, että palon leviämistä onteloissa rajoitetaan. Lähtökohtana usein on, että vaakasuuntaiset rakenteet katkaisevat pystysuuntaiset ontelot ja pystysuuntaiset rakenteet vaakasuuntaiset ontelot. Näin ei kuitenkaan aina tapahdu, jolloin ontelo tulee katkaista erillisillä palokatkoilla.

Palo ei saa levitä rakenteiden onteloissa palo-osastosta toiseen. Tällainen vaara syntyy esimerkiksi kuvan 3 mukaisessa tilanteessa, jossa huoneistojen välillä on väliseinä, jonka keskellä on ilmarako, joka jatkuu kerroksesta toiseen. Kun rakennetta suojaava levy pettää, palo pääsee leviämään rakenteen onteloon. Jos onteloa ei katkaista palokatolla, pääsee palo leviämään ontelon kautta palo-osastosta toiseen. Rakennuksen pystysuuntaiset ja vaakasuuntaiset ontelot tuleekin tarvittaessa varustaa palokatolla palon leviämisen estämiseksi. Pystysuuntaiset ontelot tulee katkaista kerroksittain. Vaakasuuntaiset ontelot katkaistaan niin, että ne vastaavat palo-osastoja. Varsinaisia lukuarvollisia palonkestovaatimuksia ei ole pystysuuntaisille onteloiden palokatoille annettu, joten riittää, että ontelo on katkaistu. Katkaisu voidaan toteuttaa esimerkiksi palamattomalla eristeellä. Vaakasuuntaisten onteloiden palokattojen tulee vastata niiden alapuolisten osastoivien rakennusosien luokkavaatimusta. (Lahtela 2018a, s. 41)



Kuva 3. Esimerkki seinäontelon palokatkosta (Lahtela 2018b, s. 15)

Kuva 4 havainnollistaa onteloiden katkaisun toteutusta. Palo ei saa levitä onteloita pitkin palo-osastosta toiseen. Ontelot katkaistaan kerroksittain sekä vastaamaan palo-osastointia.



Kuva 4. Esimerkki onteloiden palokatkojen toteutuksesta (Lahtela 2018a, s. 48)

Toinen yleinen ontelopalotyyppi on julkisivujen palot, joissa palo leviää ulkoseinän tuuletusraossa. Julkisivujen palokatkot eroavat ulkonäöltään ja toimintatavaltaan rakennuksen sisäisistä palokatkoista. Tuuletusrakoa ei voi tukkia täysin sillä ilman pitää pystyä virtaamaan raossa.

Taulukossa 7 on esitetty VTT:n tutkimuksessa saatuja tuloksia liekkien leviämisaajoista tuuletusraossa 22 mm paksun maalatun kuusivanerin pinnalla erilaisilla palokatkoilla varusteltuna. Koekappaleen korkeus oli 2,4 metriä ja ajanhetkellä 0:00 koepalo sytytettiin koekappaleen alapäähän. Kokeessa mitattiin liekkien leviämismuotoa koekappaleen tuuletusraossa. Palokatkot toimivat tehokkaasti ja leviäminen hidastui osilla palokatkoilla jopa moninkertaisesti verrattuna avoimeen tuuletusrakoon. (Hietaniemi et al. 2003 s.71) Palon leviämisen hidastuminen antaa lisäaikaa sammutustöihin ja vähentää palosta aiheutuvia vahinkoja.

Taulukko 7. Liekkien leviämismuotoja 2,4 metriä korkean koekappaleen tuuletusraossa erilaisilla palokatkoilla varustettuna (Hietaniemi et al. 2003, s.71)

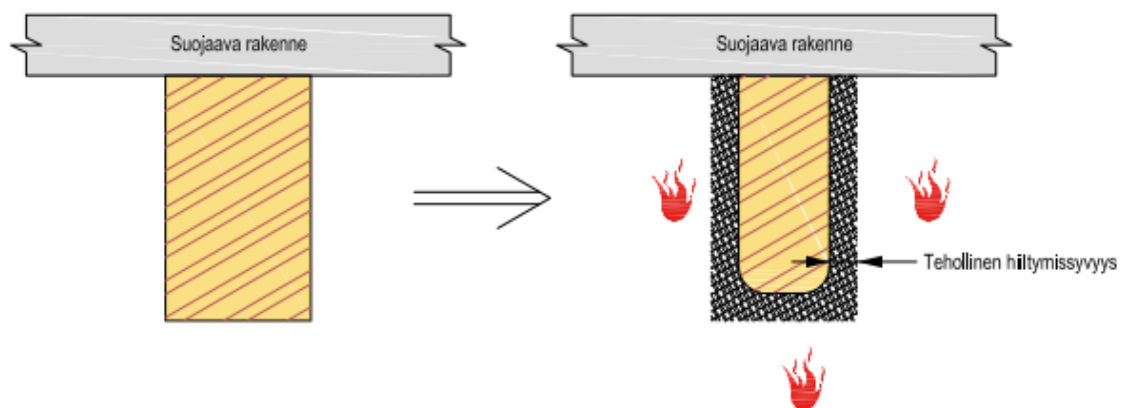
Tuuletusraon palokatko	50 cm	100 cm	150 cm	200 cm	240 cm
Ei tuuletusrakoa	1:45	3:10	22:30	–	–
Avoin tuuletusrako	4:20	5:50	7:30	8:30	8:50
Taivutettu pelti	4:30	6:10	7:00	10:00	10:20
Palonsuojamaalattu teräslevy, 30 mm	5:20	7:50	9:30	11:10	16:00
Palonsuojamaalattu teräslevy, 100 mm	5:10	7:00	9:40	10:50	13:40
Lieskaloukku, 10 mm	6:00	7:40	15:40	26:50	32:10
Lieskaloukku, 20 mm	6:30	7:50	15:50	16:40	29:00

Jos seinärakenteessa käytetään ristikoolausta, asennetaan peltiprofiili vaakasuuntaisen koolauspuuhun kiinni niin, että tuuletusrako katkaistaan pystysuunnassa. Pystysuuntaiset koolauspuut eivät pysty ristikoolauksessa katkaisemaan tuuletusrakoa vaakasuunnassa, joten vaakasuuntainen palokatko tulee toteuttaa ristikoolauksessa muulla tavalla. (Lahtela 2018b, s. 19).

3.4 Suojaamaton puupinta

Puun on materiaali, jonka palotekninen käyttäytyminen tunnetaan hyvin. Puun lämpötilan kasvaessa se alkaa pehmetä ja 100 °C asteessa puun kemiallisesti sitoutumaton vesi alkaa höyrystyä. Terminen hajoaminen alkaa kuivassa puussa noin 180 °C lämpötilassa. Kosteassa puussa terminen hajoaminen alkaa jo 100 °C lämpötilassa. Terminen hajoaminen on suurinta 320–380 °C lämpötilassa. Varsinainen syttymislämpötila on puulla noin 250–300 °C välillä. Syttymiseen vaikuttaa puun koko, sytytyslähteen teho ja lämmölle altistumisaika. Mitä massiivisempi puurakenne on, sitä enemmän tarvitaan lämpöenergiaa puurakenteen lämpötilan nostamiseksi syttymislämpötilaan. Puun syttyessä sen pinnalle muodostuu suojaava hiilikerros, joka hidastaa puun sisemmän osan lämpötilan nousua ja samalla palamista. (Lahtela 2018a, s. 80)

Suojaamattomassa puurakenteessa hiiltyminen alkaa välittömästi palotilanteessa. Puumateriaalista riippuen hiiltymisen etenemisnopeus on noin 0,55-1 millimetriä minuutissa. Hiiltymisen aikana puurakenteen dimensiot pienenevät ja palonkestoajan jälkeen jäljelle jää vain hiiltymiseltä säästynyt tehollinen poikkileikkaus, jonka tulee kestää kantavana palotilanteen rasitukset. Poikkipinta-ala pienenee nopeammin, kun se pääsee hiiltymään useammasta suunnasta. Tehollista poikkipinta-alaa voidaan kasvattaa suurentamalla yksinkertaisesti alkuperäistä puurakennetta. (Lahtela 2018a, s. 80)



Kuva 6. Puun tehollisen poikkileikkauksen pinta-ala pienenee nopeammin, kun tuli pääsee vaikuttamaan monesta suunnasta (Lahtela 2018a, s. 87)

Suojaamattoman puun palomitoituksessa tulee ottaa huomioon myös tehollisen poikkileikkauksen kulmien kulmapyöristykset ja puun halkeilu. Tätä varten on eri puutuotteille määritetty nimelliset hiiltymisnopeudet, joissa hiiltymisnopeudet ovat hieman yksisuuntaista hiiltymisnopeuksia nopeampia. Nimellinen hiiltymisnopeus ottaa huomioon suora-kaiteen muotoisen poikkileikkauksen kulmapyöristykset ja puun halkeilun (Lahtela 2018a, s. 80). Alla taulukossa 8 on esitetty eri puutuotteiden yksidimensioisia β_0 ja nimellisiä β_n hiiltymisnopeuksia.

Taulukko 8. puutuotteiden hiiltymisnopeuden mitoitusarvoja (SFS-EN 1995-1-2 2014, s. 44)

	β_0 mm/min	β_n mm/min
a) Havupuu ja pyökki		
Liimapuu, jonka ominaistiheys $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Sahatavara, jonka ominaistiheys $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
b) Lehtipuu		
Lehtipuusta valmistettu sahatavara tai liimapuu, jonka ominaistiheys on 290 kg/m^3	0,65	0,7
Lehtipuusta valmistettu sahatavara tai liimapuu, jonka ominaistiheys $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
c) LVL , jonka ominaistiheys on $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
d) Levyt ja lautaverhoukset		
Lautaverhoukset	0,9 ^a	—
Vaneri	1,0 ^a	—
Muut puulevyt kuin vaneri	0,9 ^a	—

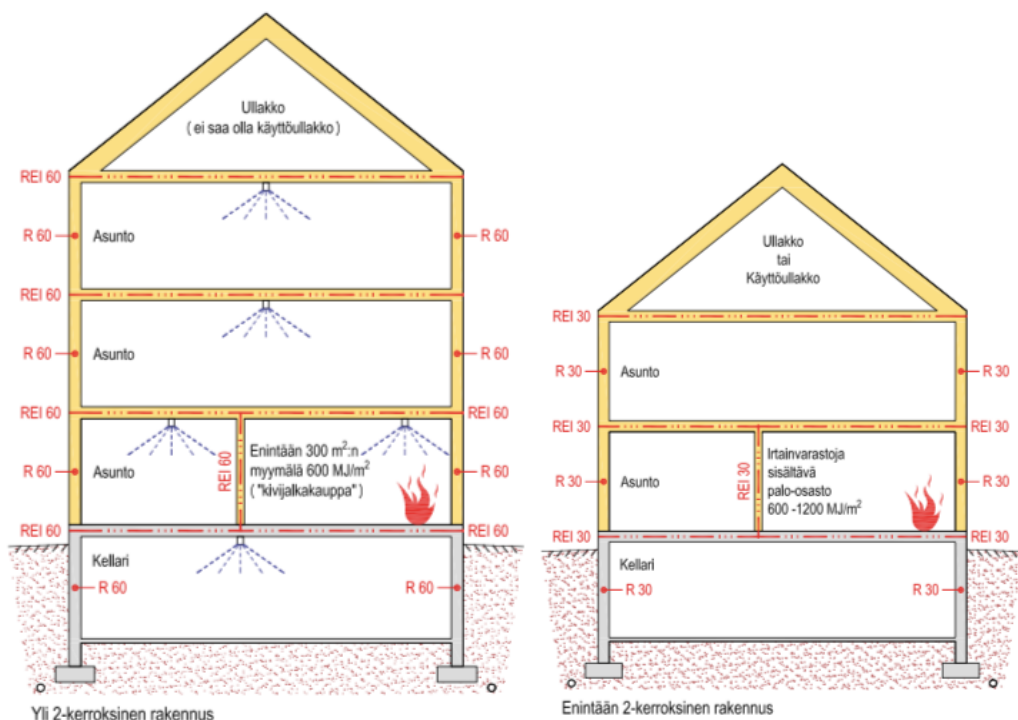
^a Arvot pätevät, kun ominaistiheys on 450 kg/m^3 ja levyn paksuus on 20 mm; ks. kohtaa 3.4.2(9) tiheyden tai paksuuden poiketessa näistä arvoista.

Suojaamattoman puupinnan käyttöä on rajoitettu paloturvallisuuden varmistamiseksi. Suojaamatonta puupintaa saa taulukkomitoituksessa käyttää P2-paloluokan puurunkoisen asuinkerrostalon palo-osaston katto- ja seinäpinnoissa seuraavasti:

- Kaikissa ei-kantavissa väliseinissä.
- Korkeintaan 20 % katto- ja seinäpinta-alasta ilman erityisvaatimuksia
- 20–80 %, jos rakennusosat ovat vähintään luokkaa REI 90
- Yli 80 %, jos rakennusosat ovat vähintään luokka REI 120 (Lahtela 2018a, s. 38)

4. TYYPPIESIMERKKEJÄ REI 30- JA REI 60-LUOKAN RAKENTEISTA

Tässä luvussa esitellään tyyppiesimerkkejä puurunkoisen asuinkerrostalon rankarunkoisista ja CLT -massiivipuulevyllisistä rakenteista luokissa REI 30–REI 60. Esiteltävät rakenteet ovat puukerrostalon ulkoseinä, kantava väliseinä ja välipohja. Kaikki tyyppiesimerkit ovat suunniteltu paloluokassa P2. Palokuorma esimerkkipuukerrostalossa on alle 600 MJ/m^2 , joka on tyypillinen palokuorma huoneistossa. Esimerkit täyttävät kaikki tässä työssä esitetyt palonkestovaatimukset.



Kuva 7. Havainnekuva puukerrostaloista, joista esitellään tyyppiesimerkeillä ulkoseinä, kantava väliseinä sekä välipohja (Lahtela 2018a, s. 16)

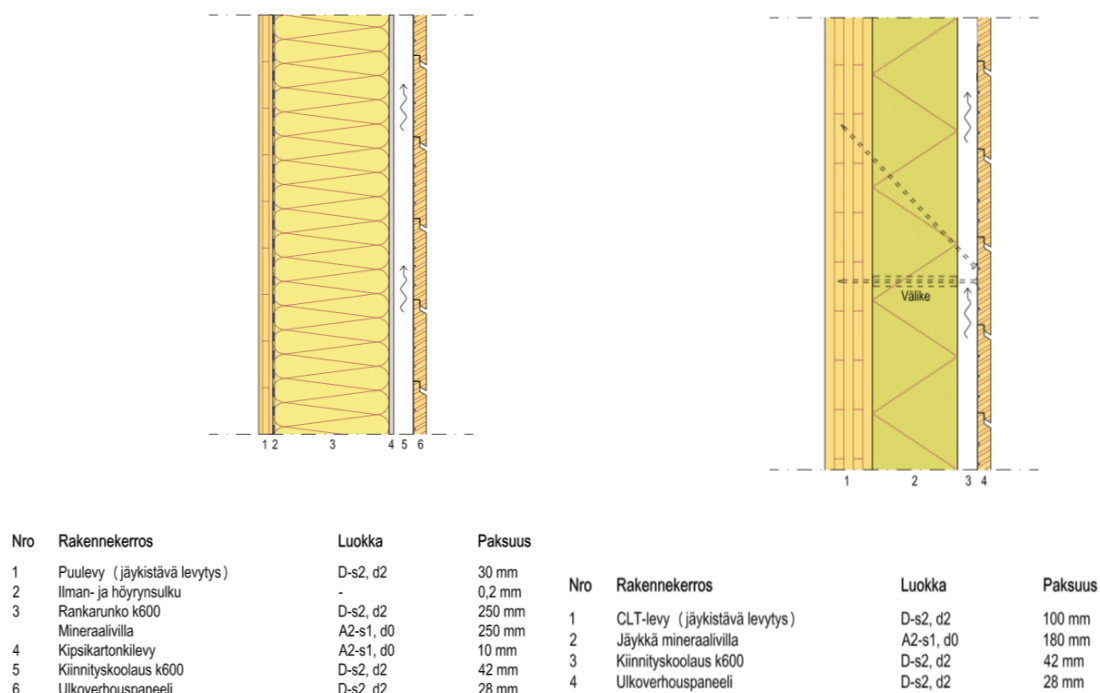
REI 30 -luokan rakennusosia voidaan käyttää alle 3-kerroksisissa puukerrostaloissa, kun taas REI 60 -luokan rakennusosia tulee käyttää 3–8-kerroksisissa puukerrostaloissa.

4.1 Ulkoseinät

4.1.1 R 30

Alle 3-kerroksisten puukerrostalojen ulkoseinien kantavuuden kestävä vaatimus on R 30. Sisä- ja ulkopinnoilla sekä tuuletusraon pinnoilla tulee käyttää vähintään D-s2, d2 -luokan rakennusosia.

Kuvassa 8 on esitettyä rankarunkoinen ja CLT-massiivipuulevystä valmistettu tyyppi-esimerkki, jotka soveltuvat molemmat 2-kerroksisen puukerrostalon kantavaksi ulkoseinäksi. Kantavien rakenteiden mitat ovat viitteellisiä, joten tulee muistaa, että CLT-massiivipuulevy ja rankarunko tulee aina toteuttaa rakennesuunnittelijan ohjeiden mukaisesti. Ulkoseinä palomitoitetaan luokkaan R 30 ja tarvittaessa luokkaan REI 30. Tyypillisesti ulkoseinät osastoidaan vain sisäpuolista paloa vastaan. (Lahtela 2018b, s. 1,4)



Kuva 8. Rankarunkoinen ja CLT-massiivipuulevyllinen ulkoseinä alle 3-kerroksiselle P2-paloluokan asukkerrostalolle (Lahtela 2018b, s. 1,4)

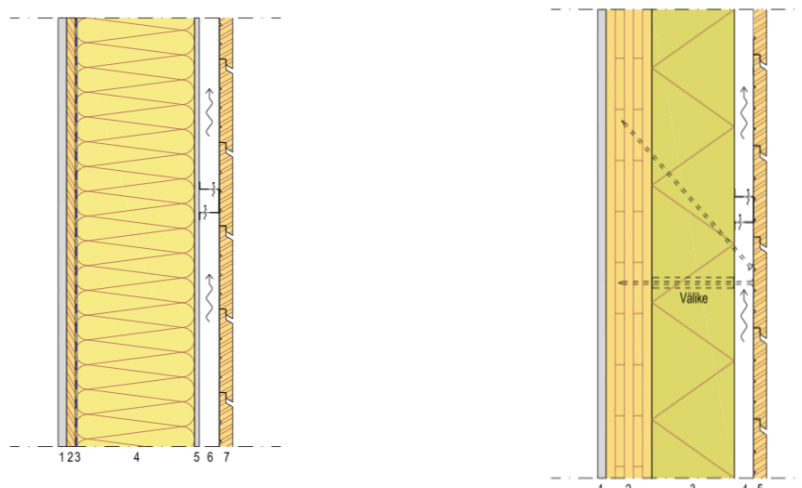
Sisäpuolisessa palossa kuvan 8 mukainen rankarunkoinen ulkoseinän kantava runkorakenne suojataan koko palon ajaksi rakennekerroksella 1. CLT-massiivipuulevy voidaan myös tarvittaessa suojata palolta suojaverhouksella, jos halutaan että levy ei hiilly palossa. Rankarunkoisen seinän rakennekerroksessa 4 voidaan käyttää myös puulevyä, joka täyttää luokkavaatimuksen D-2s, d2. Molemmissa seinärakenteissa lämmöneristeenä voidaan käyttää esimerkiksi poiketen myös D-2s, d2 -luokan eristettä. (Lahtela 2018b, s. 1,4)

4.1.2 R 60

Ulkoseinän kantavuutta koskeva vaatimus kasvaa 3–8 kerroksisessa P2-paloluokan puukerrostalossa luokkaan R 60. Lisäksi pintaluokkavaatimukset ovat suuremmat. Ulkoseinän sisäpinnat, ulkoverhous ja tuuletusraon ulkopinta voidaan tehdä D-s2, d2 -luokan

rakennusosista. Tuuletusraon sisäpinta tulee kuitenkin varustaa vähintään K₂ 10 -luokan suojaverhouksella, joka on tehty A2-s1, d0 -luokan rakennustarvikkeista. Tuuletusraot tulee lisäksi katkaista palokatolla kerroksittain. Ulkoseinien eristeiden luokkavaatimus on A2-s1, d0.

Kuvassa 9 on esitelty 5–8 kerroksisen puukerrostalon rankarakenteisen ja CLT-levyllisen ulkoseinän rakennetyypit. 3–4 kerroksisten puukerrostalojen ulkoseinät eroavat tyyppi-esimerkeistä siten, että 3–4 kerroksisten puukerrostalojen ulkoseinien sisäpintojen suojaverhouksena voidaan käyttää myös K₂ 10 -luokan suojaverhousta, mutta tällöin kaikki pinnat tulee suojaverhota. Kun suojaverhouksena käytetään K₂ 30 luokan vähintään A2-s1, d0 -luokan rakennustarvikkeista valmistettua suojaverhousta, voidaan suojaamattomaa pintaa jättää pois luvun 3.4 ohjeiden mukaisesti.



Nro	Rakennekerros	Luokka	Paksuus	Nro	Rakennekerros	Luokka	Paksuus
1	Kuitukipsilevy	K ₂ 30, A2-s1, d0	18 mm	1	Kuitukipsilevy	K ₂ 30, A2-s1, d0	18 mm
2	Puulevy (jäykistävä levytys)	D-s2, d2	18 mm	2	CLT-levy (jäykistävä levytys)	D-s2, d2	100 mm
3	Ilman- ja höyrynsulku	-	0,2 mm	3	PAROC Cortex One	K ₂ 10, A2-s1, d0	180 mm
4	Rankarunko k600	D-s2, d2	250 mm	4	Kiinnityskoolaus k600	D-s2, d2	42 mm
5	Mineraalivilla	A2-s1, d0	250 mm	5	Palokatkot tuuletusraossa 1 kpl / kerros		
6	Kipsikartonkilevy	K ₂ 10, A2-s1, d0	10 mm		Ulkoverhouspaneeeli	D-s2, d2	28 mm
7	Kiinnityskoolaus k600	D-s2, d2	42 mm				
	Palokatkot tuuletusraossa 1 kpl / kerros						
	Ulkoverhouspaneeeli	D-s2, d2	28 mm				

Kuva 9. Rankarunkoinen ja CLT-massiivipuulevyllinen ulkoseinä 3–8-kerroksiselle P2-paloluokan asunkerrostalolle (Lahtela 2018b, s. 3,6)

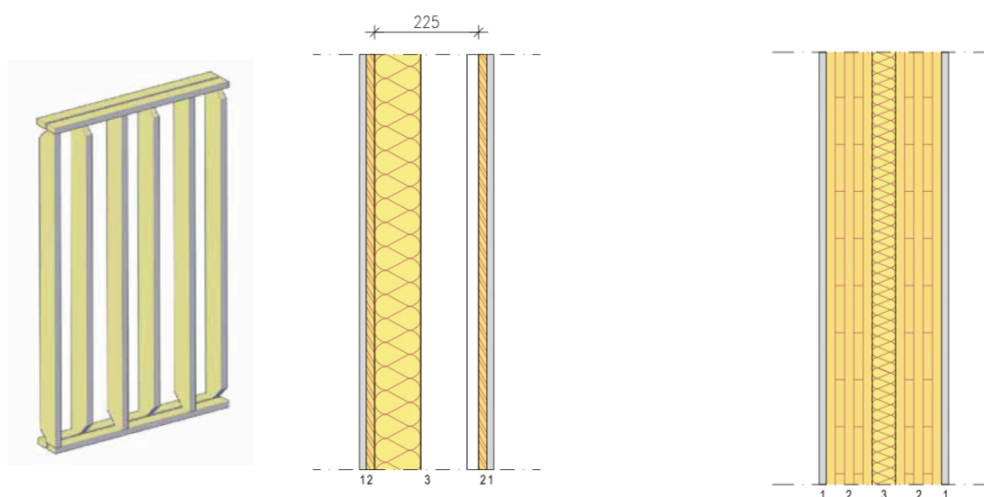
Rankarunko ja CLT-levy tulee toteuttaa aina rakennesuunnittelijan ohjeiden mukaisesti. Suojaverhoukset toteutetaan kuvan 9 mukaisessa rankarunkoisessa seinässä rakennekerrosten 1 ja 5 avulla. CLT-massiivipuulevyseinässä suojaverhous toteutetaan rakennekerroksilla 1 ja 3. Molemmat seinärakenteet palomitoitetaan luokkaan R 60 ja tarvittaessa luokkaan REI 60. Sisäpuolisessa palossa rankarunkoinen seinä palosuojataan koko palon ajalle rakennekerroksilla 1 ja 2. Rakennekerroksen 1 suojaverhousta voidaan käyttää hyödyksi CLT-massiivipuuseinän R-mitoituksessa. (Lahtela 2018b, s. 3,6)

Vaikka ulkoverhouksen ja tuuletusraon ulkopinnan pintaluokkavaatimus on yleisesti D-s2, d2, suunnittelijan tulee muistaa, että alimmassa kerroksessa luokkavaatimus on molemmilla pinnoilla B-s2, d0. Alimman kerroksen pintaverhous voidaan toteuttaa esimerkiksi palosuojatulla puulla.

4.2 Kantavat väliseinät

4.2.1 REI 30

Alle 3-kerroksisten puukerrostalojen kantavien väliseinien vaatimusluokka on REI 30. Kantavien väliseinien on siis pysyttävä palotilanteessa osastoivana sekä kantavana 30 minuuttia. Kuvan 10 mukaisten väliseinien ulkopintojen luokkavaatimus on D-s2, d2, mutta rakenteen osastoivuus ja kantavuus varmistetaan usein seinän molemmin puolin asennettavilla palosuoja-levyillä. Kantavat väliseinät ovat puukerrostaloissa yleensä huoneistojen välisiä seiniä.



Nro	Rakennekerros	Luokka	Paksuus	Nro	Rakennekerros	Luokka	Paksuus
1	Palokipsikartonkilevy	A2-s1, d0	15 mm	1	Palokipsikartonkilevy	A2-s1, d0	15 mm
2	Puulevy (jäykistävä levytys)	D-s2, d2	18 mm	2	CLT-levy (jäykistävä levytys)	D-s2, d2	100 mm
3	Sik sak rankarunko k600	D-s2, d2	200 mm	3	Mineraalivilla ääneneristeinä	A2-s1, d0	50 mm
	Mineraalivilla ääneneristeinä	A2-s1, d0	100 mm				

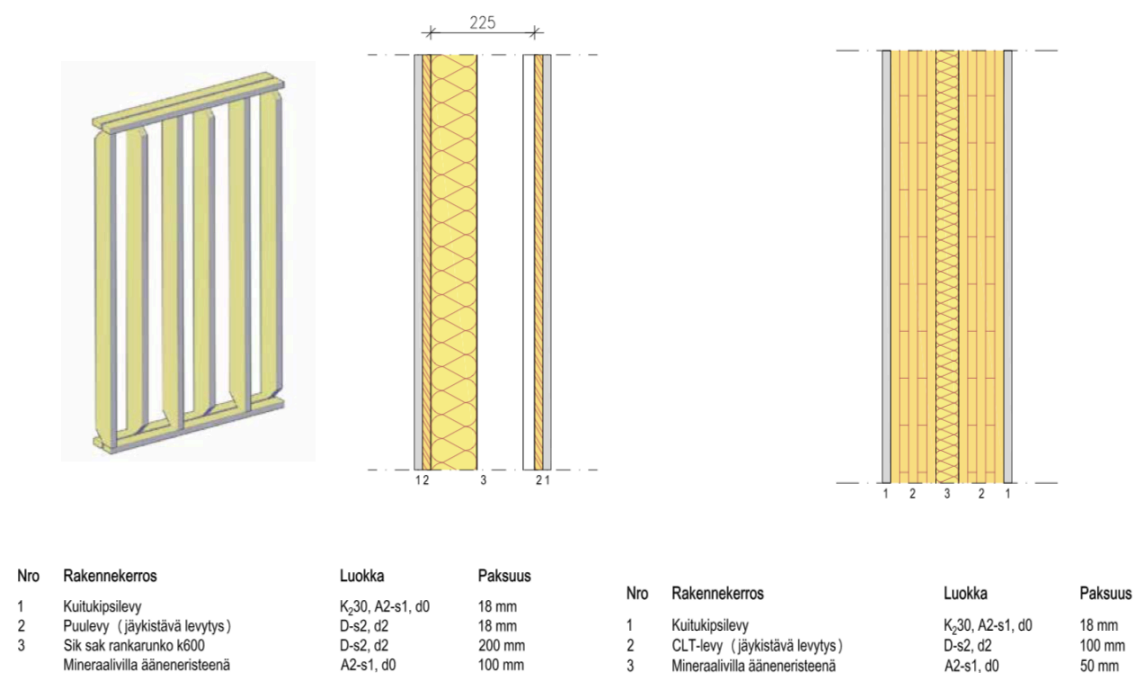
Kuva 10. Rankarunkoinen ja CLT-massiivipuulevyllinen kantava väliseinä -esimerkki alle 3-kerroksiselle puukerrostalolle (Lahtela 2018b, s. 7,10)

Rankarunko ja CLT-levy tulee aina toteuttaa rakennesuunnittelijan ohjeiden mukaisesti. Kuvan 10 mukaisissa rakenteissa raskaita kipsilevyjä tarvitaan varmistamaan riittävä ääneneristys. Molemmat seinät palomitoitetaan luokkaa REI 30. Rankarunkoinen seinä palosuojataan R-mitoituksessa koko palonajalle rakennekerroksilla 1 ja 2. CLT-levyn R-mitoituksessa voidaan hyödyntää rakennekerrosta 1. (Lahtela 2018b, s. 7,10)

4.2.2 REI 60

Kantavien väliseinien luokkavaatimus 3–8 kerroksisissa P2-luokan puukerrostaloissa on REI 60. Pintaluokkavaatimukset seinälle ovat D-s2, d2, mutta pinnat tulee suojata K₂ 10–K₂ 30 -luokan suojaverhouksilla.

Esimerkkikuva 11 esittää 5–8 kerroksisen puukerrostalon kantaviaseiniä, joissa tulee käyttää suojaverhouksena K₂ 30 -luokan suojaverhousta, joka on valmistettu luokan A2-s1, d0 rakennustarvikkeista. K₂ 30 -luokan suojaverhousta käytettäessä, voidaan osa katto- ja seinäpinnasta jättää suojaamatta luvun 3.4 mukaisin ehdoin. Tässä esimerkitapauksessa rakennusosien ollessa luokkaa REI 60, voidaan siis 20 % katto ja seinäpinta-alasta jättää suojaamatta. Kuten ulkoseinissä, myös kantavissa väliseinissä voidaan käyttää K₂ 10 -luokan suojaverhousta 3–4 kerroksissa puukerrostaloissa, mutta tällöin suojaamatonta pintaa ei saa jättää vaan kaikki katto- ja seinäpinta tulee suojata.



Kuva 11. Rankarunkoinen ja CLT-massiivipuulevyllinen kantavaväliseinä 5–8 kerroksiselle puukerrostalolle (Lahtela 2018b, s. 9,12)

Kuvan 11 esimerkkien kantavien rakenteiden kerrospaksuudet ovat viitteellisiä ja rankarunko ja CLT-levytys tulee aina toteuttaa rakennesuunnittelijan ohjeiden mukaisesti. Molemmissa rakenteissa raskaita kipsilevyjä tarvitaan takaamaan riittävä ääneneristys. Molemmat seinät palomitoitetaan luokkaa REI 60. Kuvan 11 mukainen rankarunkoinen seinä palosuojataan R-mitoituksessa koko palonajalle rakennekerroksilla 1 ja 2. CLT-levyn R-mitoituksessa voidaan hyödyntää rakennekerrosta 1. (Lahtela 2018b, s. 9,12)

4.3 Välipohjat

Kaksikerroksisen puukerrostalon välipohja palomitoitetaan luokkaan REI 30 ja 3–8 kerroksisen välipohja luokkaan REI 60. Kuvassa 12 esitetyn rankarunkoisen ja CLT-levyllisen välipohjan suojaverhous toteutetaan rakennekerroksilla 2 ja 8. Samoja rakennekerroksia voidaan hyödyntää myös R-mitoituksessa. Yleensä kaikissa välipohjissa joudutaan ääneneristävyyden takia käyttämään raskaita kipsilevyjä alakatossa. CLT-levy ja rankarunkoisen välipohjan kantavat ripalaatat tulee toteuttaa rakennesuunnittelijan ohjeiden mukaisesti. (Lahtela 2018b, s. 13,14)

Nro	Rakennekerros	Luokka	Paksuus	Nro	Rakennekerros	Luokka	Paksuus
1	Lattiapinnoite	-	15 mm	1	Lattiapinnoite	-	15 mm
2	Kipsi- tai betonivalu	K ₂ 30, A2-s1, d0	40...60 mm	2	Kipsi- tai betonivalu	K ₂ 30, A2-s1, d0	40...60 mm
3	Askelääneneristevilla	A2-s1, d0	50 mm	3	Askelääneneristevilla	A2-s1, d0	50 mm
4	Ripalaatta	D-s2, d2	300 mm	4	CLT-levy	D-s2, d2	240 mm
5	Mineraalivilla ääneneristeinä	A2-s1, d0	100 mm	5	Koolaus k400	D-s2, d2	66 mm
6	Koolaus k400	D-s2, d2	23 mm	6	Mineraalivilla ääneneristeinä	A2-s1, d0	50 mm
7	Akustiset jousirangat k400		25 mm	7	Koolaus k400	D-s2, d2	23 mm
8	Palokipsikartonkilevy	K ₂ 30, A2-s1, d0	2x 15 mm	8	Akustiset jousirangat k400		25 mm
					Palokipsikartonkilevy	K ₂ 30, A2-s1, d0	2x 15 mm

Kuva 12. Rankarunkoinen sekä CLT-levyllinen puukerrostalon välipohja (Lahtela 2018b, s. 13,14)

Alle 3-kerroksisessa puukerrostalossa välipohjalle ei ole asetettu suojaverhousvaatimuksia, kunhan välipohjan eristeet ovat vähintään luokkaa D-s2, d2. Jos eristeet eivät täytä luokkavaatimusta, tulee suojaverhouksena käyttää K₂ 10 -luokan suojaverhousta, joka on valmistettu vähintään B-s1, d0 -luokan rakennustarvikkeista. (Lahtela 2018b, s. 13,14)

3–4 kerroksisessa puukerrostalossa välipohjat voidaan suojaverhota K₂ 10 -luokan suojaverhouksella. Tuttuun tapaan, tällöin ei suojaamattomia puupintoja sallita. Ääniteknisistä syistä välipohja joudutaan yleensä toteuttamaan K₂ 30 -luokan verhouksella. (Lahtela 2018b, s. 13,14)

5–8 kerroksisessa puukerrostalossa tulee käyttää kuvan 12 mukaisia K₂ 30 -luokan suojaverhouslevyjä, jolloin puupintoja voi jättää luvun 3.4 mukaisesti suojaamatta. (Lahtela 2018b, s. 13,14)

5. YHTEENVETO

Rakennusten palosuojaus muuttuu rakennuksen koon ja palokuorman muuttuessa. Rakennuksen koko vaikuttaa paloluokkaan, jossa puurunkoinen kerrostalo toteutetaan. Alle 3-kerroksisia puukerrostaloja voidaan rakentaa kaikissa paloluokissa, mutta 3–8 kerroksiset asuinpuukerrostalot tulee aina toteuttaa P2-paloluokassa. Rakennuksen kantavuus- ja osastointivaatimukset määräytyvät taulukkomitoituksessa rakennuksen paloluokan, kerrosluvun ja palokuorman mukaan.

Rakennuksen paloluokka määrää myös rakennuksessa käytettävien pintojen, eristeiden ja suojaverhouksien luokkavaatimuksia. Pintaluokkavaatimuksia asetetaan rakennuksen sisäpuolisille pinnoille sekä ulkoseinälle.

Kantavuus- ja osastointivaatimukset vaikuttavat kantavien ja osastoivien rakennusoasien palonsuojaukseen. Kantavia ja osastoivia rakenteita voidaan suojata palolta kolmella tavalla. Rakenne voidaan suojata suojaverhouksella koko palon ajaksi, jolloin suojattava rakenne ei hiilly lainkaan. Suojaverhaus voi myös suojata rakennetta vain osan vaaditusta palonkestoajasta, jolloin suojattava rakenne hiiltyy osan palonkestoajasta. Uuden asetuksen myötä puurakenteita voidaan jättää kokonaan suojaamatta myös taulukkomitoituksessa, jolloin puu hiiltyy koko palonkestovaatimusajan. Tällöin kantavuus ja osastoivuus tulee varmistaa kasvattamalla rakenteen alkuperäistä poikkeileikkausta siten, että palosta jäljelle jäävä hiiltymätön tehollinen pinta-ala kestää rakenteeseen kohdistuvan kuorman.

Taulukkomitoituksen vaatimuksista voidaan poiketa toiminnallisella suunnittelulla, jossa paloturvallisuus tulee suunnitella kohdekohtaisesti. Toiminnallisessa suunnittelussa rakennuksen paloturvallisuusvaatimusten täyttyminen tulee pystyä osoittamaan.

Tässä työssä koottiin yhteen puukerrostalon keskeisille rakenteille asetetut palonkestovaatimukset sekä esiteltiin tyyppiratkaisut, joilla nämä vaatimukset voidaan täyttää. Tyyppiratkaisut kattavat kaksikerroksiset kerrostalot, joille asetettu palonkestovaatimus on REI 30 sekä tätä korkeammat kerrostalot, joiden palonkestovaatimus on REI 60.

LÄHTEET

- Hietaniemi J., Hakkarainen T., Huhta J., Jumppanen U., Kouhia I., Vaari J. & Weckman H. (2003). Ontelotilojen paloturvallisuus. Ontelopalojen leviämisen katkaiseminen. VTT tiedotteita 2202. Saatavissa (viitattu 17.4.19): <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2202.pdf#search=ontelotilojen>
- Kryssi E. (2013). Puukerrostalo. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa (viitattu 15.5.2019): <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21966/Kryssi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lahtela T. (2018a). PALOTURVALLINEN PUUTALO Asuin- ja toimitilarakentaminen. Puuinfo Oy. Saatavissa (viitattu 3.3.2019): <https://www.puuinfo.fi/paloturvallinen-puutalo-asuin-ja-toimitilarakentaminen>
- Lahtela T. (2018b). PALOTURVALLINEN PUUTALO Asuin- ja toimitilarakentaminen. Liite 3. Puuinfo Oy. Saatavissa (viitattu 22.4.2018): https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Palo_Liite_Rakenneyksityiskohtia_2018_26_2%20final.pdf
- Mikkola E. & Holopainen S. (2017). Puukerrostalon palotekniikka. Karelia-ammattikorkeakoulu. Saatavissa (viitattu 14.3.2019): <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-275-246-8>
- Myllylä P., Hietaniemi J., Salminen M., Rostedt A., Kauriala M., Jortikka J., Lehtonen M., Susi J., Koskela V., Kauriala M. (2015). Puukerrostalon palosuunnitteluohje – toiminnallinen suunnittelu. Finnish Wood Research Oy. Saatavissa (viitattu 17.5.2019): https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/2.7.13.%20Puukerrostalon%20palosuunnitteluohje%20-%20toiminnallinen%20suunnittelu_20151020_final.pdf
- SFS-EN 1995-1-2 (2014). Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleistä. Puurakenteiden palomitoitus. Saatavissa (viitattu 10.4.19): <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/398750.html.stx>
- YMa 848/2017 (2017a). Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Muistio. Saatavissa (viitattu 27.2.2019): http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentamisen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Paloturvallisuus
- YMa 848/2017 (2017b). Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Saatavissa (viitattu 27.2.2019): <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848>